

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

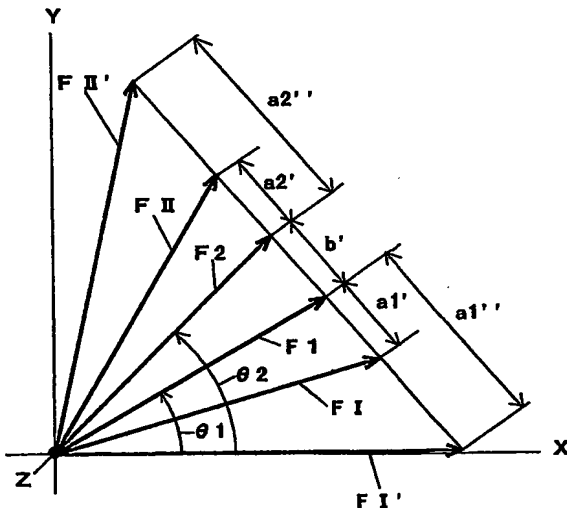
10/535438

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 6 月 17 日 (17.06.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/051209 A1

- (51) 国際特許分類: G01M 1/08, 1/16, 13/04 (81) 指定国 (国内): US.
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/014236 (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- (22) 国際出願日: 2003 年 11 月 10 日 (10.11.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2002-382751
2002 年 11 月 29 日 (29.11.2002) JP
- (71) 出願人 および
(72) 発明者: 辻 克己 (TSUJI, Katsumi) [JP/JP]; 〒157-0072
東京都 世田谷区 祖師谷四丁目 3 1 番 2 4 号 Tokyo
(JP).
- (54) Title: DYNAMIC UNBALANCE CALCULATING METHOD AND DYNAMIC UNBALANCE TESTING DEVICE
- (54) 発明の名称: 動不釣合算定法及び動釣合試験装置



(57) Abstract: The magnitude and angular position of dynamic unbalance of a rotary body are calculated from the original vibration vector. The original vibration vector (magnitude and angular position) obtained by measurement using a vibration sensor in bearings supporting the rotary body has its specific unbalance calculated from the dynamic unbalance vector (magnitude, angular position) of the rotary body obtained by a vector calculation method on the basis of the ratio of the spacing between the bearings to the spacing between two corrected surfaces optionally set on the rotary body.

(57) 要約: 回転体の動不釣合の大きさと角度位置を、原状の振動ベクトルから算定する。回転体を支える軸受において振動センサによる測定によって得られた原状の振動ベクトル(大きさ、角度位置)を、軸受間隔長と回転体の任意に設定された二修正面間隔長の比に基づいたベクトル演算方法により得られる回転体の動不釣合ベクトル(大きさ、角度位置)から比不釣合を算定する。

明 細 書

動不釣合算定法及び動釣合試験装置

技術分野

本発明は、回転体の動不釣合ベクトルの算定方法に関するものである。

5 背景技術

従来は、回転機械の回転体の動不釣合の検出方法においては、回転体の未知の動不釣合による遠心力を受ける軸受にて原状の振動ベクトル（変位、速度、又は加速度の大きさと角度位置）を検出した後、一旦運転を停止し、回転体に試し錘を付加して再運転して、試し錘の付加によって変化する振動ベクトルを測定することを数回繰り返すことが必要とされ、測定値を変換係数法などを用いた計算により回転体の動不釣合を算定する方法がとられている。

発明の開示

本発明は、従来の動不釣合の算定のためには、複数回の運転の停止、分解、試し錘の付加、組立、試運転、振動ベクトルの変化の測定が必要とされる負担を解消し、試し錘を付加せずに原状の振動ベクトルの測定のみによって回転体の動不釣合が得られる算

定方法を提供することを目的とする。

- 本発明は、回転体の原状の運転状態における、回転体の両側の軸受にて測定された振動ベクトル値（変位、速度、又は加速度の大きさと角度位置）は、軸頸部に集約された回転体の動不釣合遠心力に相当するという本発明の観点から、軸受間隔長と修正面間
- 5 隔長の比を用いたベクトル図計算方法に基づく演算により、回転体の動不釣合ベクトル値（大きさと角度位置）を算定することを特徴とする。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の一実施形態を示すイメージ図である。

図 2 は、本発明の動不釣合ベクトル演算方法の $a_1 = a_2$ の場合の実施例を示す。

- 10 図 3 は、本発明の動不釣合ベクトル演算方法の $a_1 \neq a_2$ の場合のイメージ図である。

図 4 は、本発明の動不釣合ベクトル演算方法の $a_1 \neq a_2$ の場合の実施例を示す。

符号の説明

- a_1, a_2 : 修正面と軸受間の長さ
- b : 修正面の間隔の長さ
- 15 l_1, l_2 : 回転体の重心と軸受間の長さ
- B_1, B_2 : 回転軸の軸頸部を支える軸受部
- L : 軸受間隔の長さ
- R : 回転体の主要部
- G : 回転体の重心位置

- I, II : 回転体の修正面（動釣合面）
- X : X方向軸、回転体の角度基準点
- Y : Y方向軸
- Z : Z方向軸、回転軸（主軸）の中心

5 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。

1. 図1（立体図）は、本発明を適用できる回転機械の中、最も一般的な回転体 R を水平に二つの軸受 B1,B2 で支持された状態をモデル化して示すものである。

回転体の動不釣合によって生ずる不釣合遠心力は、回転体 R の主軸（Z 軸）の軸頸から軸受 B1,B2 に伝達され、軸受 B1,B2 に振動を起こす。

この軸受振動を X 軸方向において測定される振動ベクトル値（変位速度、加速度の大きさと角度位置）を X_1, X_2 とする。この振動ベクトルが軸受の変位（ X_1, X_2 [cm]）の場合、軸受 B1,B2 に作用する回転体の不釣合遠心力ベクトル F_1, F_2 による強制振動の運動方程式を、次式で表す。

$$15 \quad M_{1,2} \frac{d^2 x_{1,2}}{dt^2} + c_{1,2} \frac{dx_{1,2}}{dt} + k_{1,2} x_{1,2} = F_{1,2} \cos \omega t \quad [N] \quad \text{---1-1}$$

ここに、 $M_{1,2}$: 軸受 B1,B2 に作用する慣性質量 [Ns²/cm]

$$\text{但し、} \quad M_1 = M \frac{l_2}{L}, \quad M_2 = M \frac{l_1}{L} \quad [Ns^2/cm] \quad \text{---1-2}$$

M : 回転体質量 [Ns²/cm]

$c_{1,2}$: 軸受 B1,B2 の粘性減衰係数 [N・s/cm]

$k_{1,2}$: 軸受 B1,B2 の水平方向のばね定数 [N/cm]

$$k_{1,2} = (\omega_{n1,n2})^2 M_{1,2} \quad [\text{N/cm}] \quad \text{---1-3}$$

$\omega_{n1,n2}$: 軸受 B1,B2 の水平方向の固有振動数 [rad/s]

ω : 回転体の回転角速度 [rad/s]

5 t : 時間 [s]

1-1 式の解より不釣合遠心力ベクトル F_1, F_2 の大きさは次式で得られる。

$$F_i = k_i x_i \sqrt{[1 - (\omega/\omega_{n1})^2]^2 + [2(c_i/c_{ci})(\omega/\omega_{n1})]^2} \quad [\text{N}] \quad \text{---1-4}$$

ここに、 $i: 1, 2$ 、以下同じ。

C_{ci} : 軸受 B1,B2 の臨界減衰係数 [N・s/cm]

- 10 2. 不釣合遠心力ベクトル F_1, F_2 の大きさを求める別の方法として、回転体に分布する不釣合は、回転軸(主軸)に直角な任意の二面(修正面又は動釣合面という)に集約された動不釣合によって代表できること、また軸受で支えられる回転体の軸頸も回転体の一部であることから、「両軸受に作用する回転体の不釣合遠心力は、両軸頸部を動釣合面とする動不釣合による不釣合遠心力に相当する」という本発明の
- 15 観点から、両軸受に作用する不釣合遠心力ベクトル F_1, F_2 の大きさ[N]は次式で表される。

$$F_{1,2} = M_{1,2} e_{1,2} \omega^2 \quad [\text{N}] \quad \text{---2-1}$$

ここに、 $e_{1,2}$: 軸受 B1,B2(軸頸部)面の比不釣合 [cm]

3. 2-1 式の比不釣合: $e_{1,2}$ の大きさは 1-1 式に 2-1 式を代入した次の運動方程式により
- 20 得られる。

5

$$M_{1,2} \frac{d^2 x_{1,2}}{dt^2} + c_{1,2} \frac{dx_{1,2}}{dt} + k_{1,2} x_{1,2} = M_{1,2} \theta_{1,2} \omega^2 \cos \omega t \quad [N] \quad \text{---3-1}$$

3-1 式の解から比不釣合 $e_{1,2}$ の大きさは次式で得られる。

$$e_{1,2} = x_{1,2} \frac{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_{n1})^2]^2 + [2(c_1/c_{o1})(\omega/\omega_{n1})]^2}}{(\omega/\omega_{n1})^2} \quad [cm] \quad \text{---3-2}$$

4. F_1, F_2 ベクトルの方向、即ち回転体の X 軸（基準点）に対する角度位置： $\theta_1,$

5 θ_2 は F_1, F_2 （力）[N] に対する測定された振動ベクトル X_1, X_2 （変位）の角度位置[rad]に遅れ角度： α_i を補正して得られる。 α_i は次式による。

$$\alpha_i = \tan^{-1} \frac{2(\omega/\omega_{n1})(c_i/c_{o1})}{1 - (\omega/\omega_{n1})^2} \quad [rad] \quad \text{---4-1}$$

5. 1-4 又は 2-1 式によって得られる軸受 B1,B2(軸頸部)の不釣合遠心力ベクトル $F_1,$

F_2 値（大きさ、方向）から、回転体 R の区間 b の動不釣合を求めることは、任意の動不釣合面の移動又は変更に相当すると観る本発明の特徴に基づき、以下に従って算定する。

回転体 R の区間 b [cm] の両側面を二修正面 I, II（修正面間隔長を b とする）とする。また、両修正面から両側の軸受 1, 2 までの間隔長を a_1 及び a_2 [cm] とする。即ち、

$$15 \quad \text{軸受・修正面間隔長比} = a_1 : b : a_2 \quad [cm] \quad \text{---5-1}$$

6. $a_1 = a_2$ かつ $F_1 = F_2$ の場合、(図 2 の紙面は、X 軸と直角に交わる Y 方向の面に一致し、Z は紙面に直角な方向を表す)

図 2 に、1-4 又は 2-1, 3-2 式で得た F_1, F_2 ベクトル値[N]を任意の単位の長さに換算して図示する。

20 次に、図 2 に表示した F_1, F_2 ベクトルの矢印の先端を結ぶ線分の長さを b' と

し、この線分 b' を両側に延長して、 F_1 側の延長線の長さを a_1' 及び F_2 側の延長線の長さを a_2' として、これら三線分の長さの比は 5-1 式の軸受・修正面間隔長比と等しく設定する。 即ち、

$$a_1' : b' : a_2' = a_1 : b : a_2 \quad [\text{cm}] \quad \text{---6-1}$$

- 5 7. 次に、図 2 の線分 a_1' 、 a_2' の先端と回転軸心 Z を結ぶ線分 F_I 、 F_{II} が F_1 、 F_2 (不釣合遠心力) ベクトル (N, rad) に対応する回転体の二修正面 I 、 II の動不釣合ベクトル (N, rad) として得られる。

8. 動不釣合遠心力ベクトル: F_I 、 F_{II} の力の大きさ $[N]$ は図 2 上のベクトルの任意の単位の長さの比から次式で得られる。

$$10 \quad F_{I, II} = F_{1, 2} \frac{F_{I, II} \text{ベクトルの長さ}}{F_{1, 2} \text{ベクトルの長さ}} \quad [N] \quad \text{---8-1}$$

9. 動不釣合: F_I 、 $F_{II} [N]$ に相当する比不釣合の大きさ $e_{I, II} [\text{cm}]$ は 8-1 式の値を次式に代入して得られる。

$$e_I = \frac{F_I}{M_I \omega^2}, \quad e_{II} = \frac{F_{II}}{M_{II} \omega^2} \quad [\text{cm}] \quad \text{---9-1, 9-2}$$

ここに、

$$15 \quad M_I, M_{II} : \quad M_I = \frac{h_{II}}{b} M, \quad M_{II} = \frac{h_I}{b} M \quad [Ns^2/\text{cm}] \quad \text{---9-3, 9-4}$$

10. 次に図 1 (立体図) に示す回転体の二修正面 I 、 II の間隔長を変更する場合 (b を $1/2$ とした例) の動不釣合は、図 2 に示すように b' は不変のまま、 F_1 側の延長線分の長さを a_1'' 及び F_2 側の延長線分の長さを a_2'' に延長して、これら三線分の長さの比は次式に示す比を満足するように、 a_1'' 、 a_2'' の長さを設定する。

- 20 即ち、

$$a_1'' : b' : a_2'' = (a_1 + (1/4)b) : (1/2)b : (a_2 + (1/4)b) \quad \text{---10-1}$$

- 1 1. 次に、図2の線分 a_1'' 、 a_2'' の先端と回転軸心Zを結ぶ線分 $F_{I'}$ 、 $F_{II'}$ が F_1 、 F_2 (不釣合遠心力) ベクトル [N,rad] に対応する回転体の二修正面 I、II のの間隔長を b の $1/2$ とした場合の動不釣合ベクトル (大きさの比、角度位置) として
- 5 得られる。
- 1 2. 修正面間隔が $(1/2)b$ の二修正面に対応する動不釣合の比不釣合の大きさ $e_{I'}$ 、 $e_{II'}$ [cm] は、図2の $F_{I'}$ 、 $F_{II'}$ ベクトルの長さを基に、8-1,9-1,9-2 式に倣った計算により得られる。
- 1 3. $a_1 \neq a_2$ の場合の動不釣合算定は、前6項～9項 ($a_1 = a_2$ の場合) で算定して
- 10 得た動不釣合ベクトル: F_I 、 F_{II} 値[N]を基に、公知の静力学の手法によって目的の修正面に振り分け、再合成して算定する。
- また、不釣合遠心力ベクトル: F_1 、 F_2 値[N]から直接的に動不釣合を算定する場合は、「両軸頸 (軸受) 面は回転体の動釣合面に相当する」という本発明の観点から、図3 (立体図) 及び図4に示すように、次項以降の静力学の原理を用いたベクトル図演算により回転体の動不釣合ベクトル: F_I 、 F_{II} 値[N]を算定する。
- 15
- 1 4. 最初に、図3 (立体図) に示すように原状の F_1 、 F_2 の大きさ[N]を次式により目的とする動釣合面 (修正面): I、II に振り分けて分力ベクトル値を求める。
- $$F_{I \text{ 面分力}} : F_{1I} = F_1 \frac{a_1 + b}{b}, \quad F_{2I} = F_2 \frac{a_2}{b + a_2} \quad [N] \quad \text{---14-1,14-2}$$
- $$F_{II \text{ 面分力}} : F_{1II} = F_1 \frac{a_1}{a_1 + b}, \quad F_{2II} = F_2 \frac{b + a_2}{a_2} \quad [N] \quad \text{---14-3,14-4}$$
- 20 1 5. 次に、14-1,2 式 of 分力ベクトルの合成力ベクトル: F_I ベクトル、及び 14-3,4 式の

分力ベクトルの合成力ベクトル： F_{II} ベクトル、即ち動釣合面： I 、 II の動不釣合ベクトルは、図4に示すように「力の平行四辺形」の法則に従うベクトル図演算、又は「力の三角形」の公式に従う次式によって得られる。

$$\text{即ち、 } F_I = \sqrt{F_{I1}^2 + F_{I2}^2 - 2F_{I1}F_{I2}\cos(180-\gamma)} \quad [N] \quad \text{---15-1}$$

$$5 \quad F_{II} = \sqrt{F_{II1}^2 + F_{II2}^2 - 2F_{II1}F_{II2}\cos(180-\gamma)} \quad [N] \quad \text{---15-2}$$

$$\text{但し、 } \gamma = (\theta_1 + 180) - \theta_2 \quad [\text{deg}] \quad \text{---15-3}$$

16. 前項で得られた動不釣合遠心力： F_I 、 F_{II} [N]に対応するの比不釣合の大きさ e_I 、 e_{II} [cm]は8-1,9-1,9-2式に倣った計算により得られる。

上記の「発明の実施の形態」に示す計算手順、及び図2及び図4に示すベクトル図
 10 による計算方法は、本発明の特徴であり、図2及び図4のベクトル図の計算手順に倣った三角関数、三角法の正弦法則・余弦法則等による数値計算方法の適用も有効であり、また、速度・加速度の測定ベクトル値に対しても有効である。
 また、動釣合試験装置及びフィールドバランス試験機の演算装置に対しても本発明のベクトル演算の適用は有効である。

15 産業上の利用可能性

本発明は回転機械の動不釣合を、軸受で検出される原状の振動ベクトル値から直接的に算定できる故、フィールドバランスにおいて試し錘の付加による変化の検出のための試運転が不要になるので、動釣合作業が簡略化され、測定時間が短縮される。 回転

体が大型になるほど短縮メリットも大きくなる。

また、石油化学プラント、原子力発電所等の危険物等を扱う区域内での不釣合修正・釣合試験や不釣合振動の監視を容易にするので安全上にも貢献できるものである。

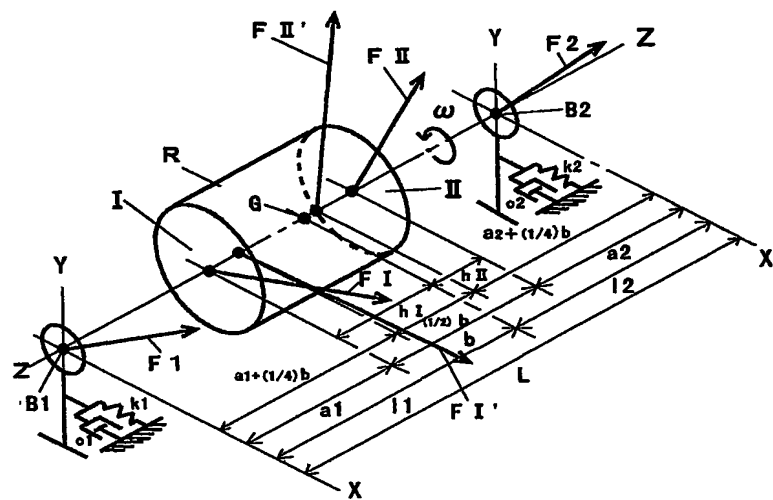
回転機械の製造工場における動釣合試験においても本発明の適用は、測定に要する時間

- 5 の短縮、測定手順の簡略化、また電力・労力・設備等の負担の軽減を図ることに有効である。

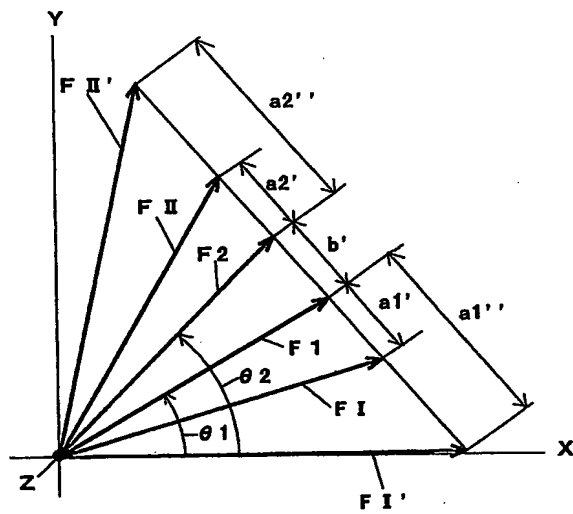
請 求 の 範 囲

1. 回転機械又は動釣合試験装置の二つの軸受にて測定される回転体の動不釣合に起因する振動ベクトル値である変位、速度、加速度等の大きさ及び方向のデータを基にして、試し錘を回転体に付加した試運転は行わないで、該機械・装置の軸受間隔長と回転体の任意に設定する動不釣合の二修正面間隔長の比を用いるベクトル演算方法による回転体の動不釣合の算定方法。
2. 請求の範囲1. に記載のベクトル演算方法による回転体の動不釣合の算定方法を直接・間接的に利用・装備するコンピューター、測定機器及び試験装置。

第 1 図

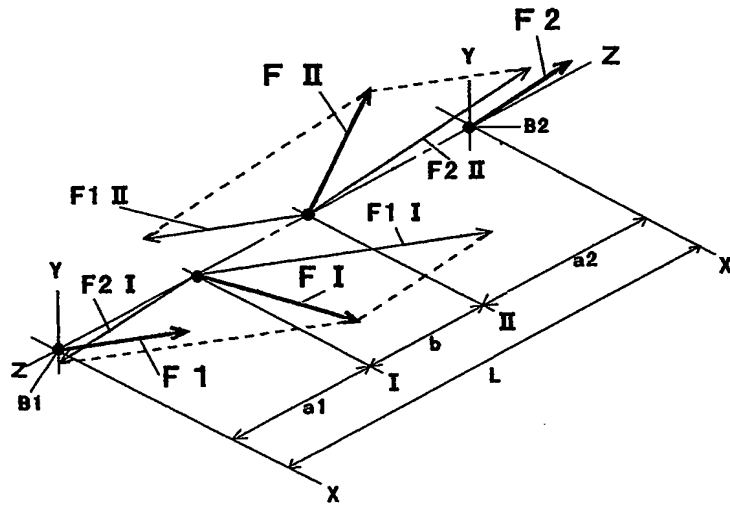


第 2 図

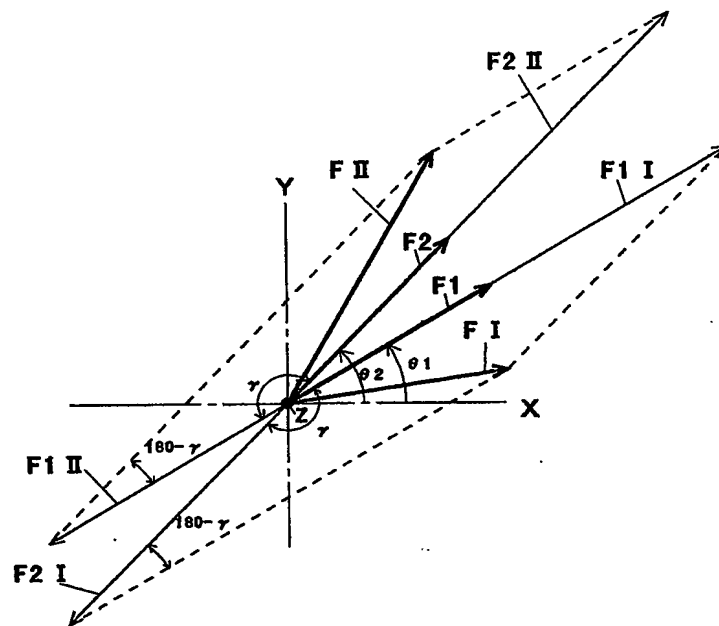


- 2 / 2 -

第 3 図



第 4 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/14236

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G01M1/08, G01M1/16, G01M13/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G01M1/08, G01M1/16, G01M13/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-221096 A (Daiwa Seiko Kabushiki Kaisha), 11 August, 2000 (11.08.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-2
A	JP 2001-141594 A (Shimadzu Corp.), 25 May, 2001 (25.05.01), Par. No. [0019] (Family: none)	1-2
A	JP 1-142429 A (Shimadzu Corp.), 05 June, 1989 (05.06.89), Full text; all drawings (Family: none)	1-2



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
04 February, 2004 (04.02.04)Date of mailing of the international search report
24 February, 2004 (24.02.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Publication No.

PCT/JP03/14236

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 63-286734 A (Carl Schenck AG.), 24 November, 1998 (24.11.98), Full text; all drawings & DE 3715499 A & US 4891981 A & EP 290867 A2	1-2

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G 0 1 M 1 / 0 8, G 0 1 M 1 / 1 6, G 0 1 M 1 3 / 0 4

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G 0 1 M 1 / 0 8, G 0 1 M 1 / 1 6, G 0 1 M 1 3 / 0 4

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 4 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 2 0 0 0 - 2 2 1 0 9 6 A (大和製衡株式会社). 2 0 0 0. 0 8. 1 1, 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 2
A	J P 2 0 0 1 - 1 4 1 5 9 4 A (株式会社島津製作所) 2 0 0 1. 0 5. 2 5, 段落 0 0 1 9 (ファミリーなし)	1 - 2
A	J P 1 - 1 4 2 4 2 9 A (株式会社島津製作所) 1 9 8 9. 0 6. 0 5, 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 2

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 4. 0 2. 0 4

国際調査報告の発送日

24. 2. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

2 J

7 5 1 9

小 山 茂 印

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 1

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 63-286734 A (カールシエンク アクチエンゲゼル シヤフト) 1998, 11, 24, 全文、全図 &DE 3715499 A &US 4891981 A &EP 290867 A2	1-2